

**В. И. ПОЛЯНСКИЙ****ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Произведен расчет параметров теплового процесса при шлифовании и на его основе определены условия уменьшения температуры резания. Показано, что температура резания уменьшается по мере уменьшения доли тепла, возникающего при резании и уходящего в образующиеся стружки, и соответственно, увеличения доли тепла, уходящего в обрабатываемую деталь. При этом уменьшается глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали. Установлено, что чем меньше условное напряжение резания, тем меньше температура резания. Этим доказана эффективность применения на финишных операциях вместо шлифования прогрессивных методов лезвийной обработки, характеризующихся меньшими значениями условного напряжения резания. Теоретически обоснована эффективность применения прерывистого шлифования. В этом случае уменьшение температуры резания происходит за счет уменьшения времени контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемой деталью и за счет уменьшения условного напряжения резания вследствие работы круга в режиме интенсивного самозатачивания. Такой двойной эффект обработки фактически достигается лишь при прерывистом шлифовании, что является чрезвычайно важным фактором повышения качества и производительности обработки.

**Ключевые слова:** шлифование, лезвийная обработка, температура резания, тепловой баланс, прерывистый круг, условное напряжение резания.

**В. І. ПОЛЯНСЬКИЙ****ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ**

Виконано розрахунок параметрів теплового процесу при шліфуванні і на його основі визначено умови зменшення температури різання. Показано, що температура різання зменшується в міру зменшення частки тепла, що виникає при різанні і надходить в стружки, що утворюються, і відповідно, збільшення частки тепла, що надходить в оброблювану деталь. При цьому зменшується глибина проникнення тепла в поверхневий шар оброблюваної деталі. Встановлено, що чим менше умовне напруження різання, тим менше температура різання. Цим доведено ефективність застосування на фінішних операціях замість шліфування прогресивних методів лезової обробки, яка характеризується меншими значеннями умовного напруження різання. Теоретично обґрунтовано ефективність застосування переривчастого шліфування. У цьому випадку зменшення температури різання відбувається за рахунок зменшення часу контакту робочого виступу переривчастого круга з оброблюваною деталлю і за рахунок зменшення умовного напруження різання внаслідок роботи круга в режимі інтенсивного самозаточування. Такий подвійний ефект обробки фактично досягається лише при переривчастому шліфуванні, що є надзвичайно важливим фактором підвищення якості та продуктивності обробки.

**Ключові слова:** шліфування, лезова обробка, температура різання, тепловий баланс, переривчастий круг, умовне напруження різання.

**І. I. POLYANSKIY****THEORETICAL ANALYSIS OF WAYS TO IMPROVE QUALITY AND PRODUCTIVITY OF MACHINING**

The parameters of the thermal process during grinding are calculated and the conditions for reducing the cutting temperature are determined on its basis. It is shown that the cutting temperature decreases as the proportion of heat arising during cutting and leaving in the generated chips decreases, and accordingly, the proportion of heat leaving in the workpiece increases. This reduces the depth of penetration of heat into the surface layer of the workpiece. It was found that the smaller the conditional cutting voltage, the lower the cutting temperature. This proves the effectiveness of the application in finishing operations instead of grinding progressive methods of blade processing, characterized by lower values of the conditional cutting voltage. Theoretically substantiated the effectiveness of intermittent grinding. In this case, a decrease in cutting temperature occurs due to a decrease in the contact time of the working protrusion of the discontinuous circle with the workpiece and due to a decrease in the conditional cutting voltage due to the operation of the wheel in the intensive self-sharpening mode. Such a double treatment effect is actually achieved only with intermittent grinding, which is an extremely important factor in improving the quality and productivity of processing.

**Keywords:** grinding, blade processing, cutting temperature, heat balance, intermittent circle, conditional cutting voltage.

**Введение.** Современное машиностроительное производство требует обеспечения высоких показателей качества и производительности механической обработки на финишных операциях изготовления деталей машин. Традиционно это достигается применением прогрессивных методов шлифования, отличающихся в первую очередь высокой режущей способностью шлифовального круга и его высокой износостойкостью. Однако, как показывает практика, уменьшить силовую и тепловую напряженность процесса шлифования весьма сложно в силу интенсивного трения связки круга с обрабатываемым материалом. Поэтому возможности повышения качества и производительности обработки при шлифовании достаточно ограничены. Это требует изыскания новых путей решения данной задачи и, прежде всего, на основе теоретического обоснования условий уменьшения температуры резания при шлифовании и лезвийной обработки. В связи с этим,

настоящая работа посвящена теоретическому анализу условий уменьшения температуры резания, как основного фактора повышения качества и производительности обработки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Основополагающие теоретические решения повышения качества и производительности механической обработки приведены в работах [1–4]. Показано, что добиться уменьшения температуры резания при шлифовании можно различными путями, и предлагается в качестве наиболее эффективного метод прерывистого шлифования. Однако при этом не приведен сравнительный анализ условий уменьшения температуры резания при шлифовании и лезвийной обработке. Не показано, каким путем можно изменять количество тепла, выделяющегося при резании и

уходящего в обрабатываемую деталь и образующиеся стружки, и на этой основе добиваться уменьшения температуры резания и повышения качества и производительности механической обработки. Поэтому в настоящей работе поставлена задача: провести такой теоретический анализ и на его основе выявить основные направления уменьшения температуры резания и повышения качества и производительности механической обработки.

**Цель работы** – математическое описание параметров теплового процесса при механической обработке и теоретическое обоснование условий уменьшения температуры резания.

**Изложение основного материала.** В работе [5] приведено дифференциальное уравнение теплового баланса при шлифовании прямолинейного стержня со скоростью  $V_{рез}$  и его решение, полученные на основе раздельного учета количества тепла, возникающего при резании и уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь:

$$c \cdot \rho \cdot S \cdot V_{рез} \cdot \theta + \frac{\lambda \cdot c \cdot \rho \cdot S^2}{N} \cdot \theta \cdot \frac{d\theta}{d\tau} = N, \quad (1)$$

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}}\right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{max}}} = e^{-\frac{V_{рез}^2 \cdot \tau}{a}}, \quad (2)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·град);  
 $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$S$  – площадь поперечного сечения стержня, м<sup>2</sup>;

$V_{рез}$  – скорость перерезания стержня, м/с;

$\theta$  – температура резания, градус;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·град);

$N = q \cdot S = \sigma \cdot V_{рез} \cdot S$  – мощность шлифования, Вт;

$q = \sigma \cdot V_{рез}$  – плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;

$\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup>;

$\tau$  – время обработки, с;

$a = \lambda / (c \cdot \rho)$  – коэффициент температуропроводности материала, м<sup>2</sup>/с;

$\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$  – максимальная температура резания, град.

В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (2) значения времени  $\tau$  для заданных значений отношения  $\theta / \theta_{max}$  и исходных данных (при шлифовании стали ШХ15):  $V_{рез} = 3,33 \cdot 10^{-3}$  м/с;  $a = 8,4 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

На рис. 1 приведены значения отношения  $\theta / \theta_{max}$  в зависимости от расчетных значений времени  $\tau$  (табл. 1). Исходя из рис. 1, с течением времени  $\tau$  отношение  $\theta / \theta_{max}$  непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к единице. Соответственно увеличивается и температура резания.

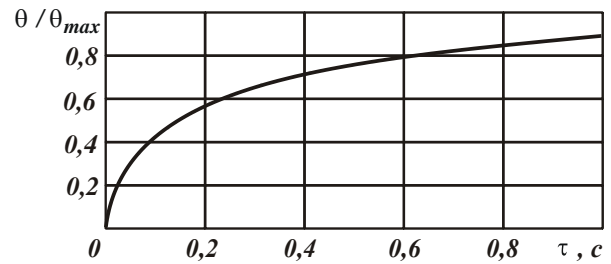


Рис. 1 – Зависимость отношения  $\theta / \theta_{max}$  от времени  $\tau$

Уравнение (1) после преобразований принимает вид:

$$\frac{\theta}{\theta_{max}} + \frac{\lambda}{\theta_{max} \cdot V_{рез}^2} \cdot \frac{\theta}{\theta_{max}} \cdot \frac{d\theta}{d\tau} = 1. \quad (3)$$

Из уравнения (3) вытекает, что доля тепла, уходящего в образующиеся стружки и определяемая первым слагаемым, равна  $\theta / \theta_{max}$ . Соответственно, доля тепла, уходящего в обрабатываемую деталь и определяемая вторым слагаемым, равна  $(1 - \theta / \theta_{max})$ . Поэтому, согласно рис. 1, с увеличением времени  $\tau$  и отношения  $\theta / \theta_{max}$  увеличивается доля тепла, уходящего в образующиеся стружки, а доля тепла, уходящего в обрабатываемую деталь, наоборот, уменьшается, неограниченно приближаясь к нулю.

При плоском и круглом наружном (внутреннем) шлифовании время  $\tau$  принимает конечные значения, определяемые глубиной шлифования  $t = V_{рез} \cdot \tau$ .

Соответственно выражение  $A = V_{рез}^2 \cdot \tau / a$  с учетом  $V_{рез} = V_{дет} \cdot (t / D_{кр})^{0,5}$  принимает вид:

$$A = \frac{V_{дет} \cdot t}{a} \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{кр}}}, \quad (4)$$

где  $V_{дет}$  – скорость детали, м/с;

$D_{кр}$  – диаметр круга, м.

Тогда зависимость (2) видоизменится:

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}}\right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{max}}} = e^{-\frac{V_{дет} \cdot t}{a} \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{кр}}}}. \quad (5)$$

В табл. 1 приведены расчетные значения глубины шлифования  $t$ , полученные на основе преобразованной зависимости (4):

$$t = 3 \sqrt{\left(\frac{A \cdot a}{V_{дет}}\right)^2 \cdot D_{кр}} \quad (6)$$

для исходных данных:  $a = 8,4 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;  $D_{кр} = 0,4$  м.

Как видно, с увеличением отношения  $\theta / \theta_{max}$  величина  $A$ , а, соответственно, и глубина шлифования  $t$  (для заданного значения скорости детали  $V_{дет}$ ) увеличиваются. Следовательно,

увеличивается доля тепла, уходящего в образующиеся стружки, и уменьшается доля тепла, уходящего в обрабатываемую деталь. Наиболее полно эта закономерность реализуется при глубинном шлифовании ( $V_{\text{дем}} = 0,01$  м/с). При многопроходном шлифовании ( $V_{\text{дем}} = 0,25$  м/с) фактически невозможно реализовать увеличенные значения глубины

шлифования  $t$ , начиная от значения  $t = 0,057$  мм, когда отношение  $\theta / \theta_{\text{max}} = 0,2$ , поскольку удельная производительность обработки  $Q_{\text{уд}} = V_{\text{дем}} \cdot t$  (в мм<sup>2</sup>/мин) принимает весьма большие значения.

Таблица 1 – Расчетные значения параметров теплового процесса при шлифовании

$\theta / \theta_{\text{max}}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1
$e^{\theta / \theta_{\text{max}}}$	1	1,2214	1,4918	1,8221	2,2255	2,4596	2,7183
$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}\right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}}$	1	0,9771	0,8951	0,7288	0,4451	0,24596	0
$A = \frac{V_{\text{рез}}^2}{a} \cdot \tau$	0	0,02	0,11	0,32	0,81	1,4	$\infty$
$\tau$ , с	0	0,01515	0,0833	0,2424	0,6136	1,06	$\infty$
$V_{\text{дем}} = 15$ м/мин = 0,25 м/с							
$t$ , мм	0	0,056	0,176	0,36	0,665	0,96	$\infty$
$Q_{\text{уд}}$ , мм <sup>2</sup> /мин	0	855	2625	5400	9975	14400	$\infty$
$l_2 / t$	–	10	3,63	1,875	0,99	0,64	0
$l_2$ , мм	–	0,56	0,639	0,675	0,658	0,6144	–
$t + l_2$ , мм	–	0,616	0,815	1,11	1,33	1,574	–
$V_{\text{дем}} = 0,6$ м/мин = 0,01 м/с							
$t$ , мм	0	0,167	0,513	1,055	1,948	2,813	$\infty$
$Q_{\text{уд}}$ , мм <sup>2</sup> /мин	0	100,2	307,8	633	1168,8	1687	$\infty$

Поэтому при многопроходном шлифовании основная часть выделяющегося при резании тепла уходит в обрабатываемую деталь, что имеет место на практике [5]. При глубинном шлифовании появляется возможность уменьшить долю тепла, уходящего в обрабатываемую деталь, фактически без уменьшения производительности обработки.

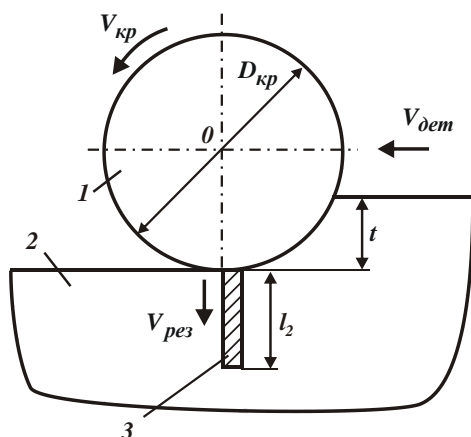


Рис. 2 – Расчетная схема параметров теплового процесса при плоском шлифовании:  
1 – шлифовальный круг; 2 – обрабатываемый материал; 3 – адиабатический стержень

Для раскрытия физической сущности установленных закономерностей следует оценить изменение отношения  $l_2 / t$ , где  $l_2$  – глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали, м (рис. 2 [6]). С физической точки зрения с увеличением времени обработки  $\tau$  и, соответственно, отношения  $\theta / \theta_{\text{max}}$ , отношение  $l_2 / t$  должно уменьшиться. Это связано с уменьшением доли тепла, уходящего в обрабатываемую деталь, и увеличением доли тепла, уходящего в образующиеся стружки.

Для анализа данной закономерности следует воспользоваться зависимостью [2]:

$$\theta = \frac{q \cdot l_2}{\lambda}, \quad (7)$$

разрешая ее относительно величины  $l_2$ :

$$l_2 = \frac{\lambda \cdot \theta}{q} = \frac{\lambda \cdot \theta}{\sigma \cdot V_{\text{рез}}} = \frac{a}{V_{\text{рез}}} \cdot \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}. \quad (8)$$

С учетом выражений  $A = V_{\text{рез}}^2 \cdot \tau / a$  и  $\tau = t / V_{\text{рез}}$  зависимость (8) примет вид:

$$l_2 = \frac{t}{A} \cdot \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}. \quad (9)$$

В табл. 1 приведены количественные значения безразмерного параметра  $A$  и рассчитанные по зависимости (9) значения отношения  $l_2/t$  и  $l_2$  для случая  $V_{\text{дем}} = 0,25$  м/с. Как видно, с увеличением отношения  $\theta/\theta_{\text{max}}$  отношение  $l_2/t$  непрерывно уменьшается. Это указывает на уменьшение доли тепла, уходящего в обрабатываемую деталь, и увеличение доли тепла, уходящего в образующиеся стружки.

Величина  $l_2$  с увеличением отношения  $\theta/\theta_{\text{max}}$  первоначально увеличивается, а затем несколько уменьшается (при чрезвычайно высоких значениях удельной производительности обработки  $Q_{\text{уд}} = V_{\text{дем}} \cdot t$ , не реализуемых в реальных условиях обработки). Поэтому следует рассматривать увеличение величины  $l_2$  с увеличением отношения  $\theta/\theta_{\text{max}}$ . При этом сумма величин однозначно  $t + l_2$  увеличивается с увеличением отношения  $\theta/\theta_{\text{max}}$ , что согласуется с преобразованной зависимостью (2) с учетом зависимости (7):

$$\theta = \theta_{\text{max}} \cdot \left[ 1 - e^{-\frac{V_{\text{рез}}}{a}(t+l_2)} \right]. \quad (10)$$

Из зависимости (10) вытекает, что чем больше сумма величин  $t + l_2$ , тем больше отношение  $\theta/\theta_{\text{max}}$  и, соответственно, больше температура резания  $\theta$ . Следовательно, чем больше объем нагретого материала при обработке, определяемого суммой величин  $t + l_2$ , тем больше температура резания  $\theta$ .

Таким образом показано, что оценку распределения тепла, уходящего в обрабатываемую деталь и образующиеся стружки, можно производить на основе отношения  $\theta/\theta_{\text{max}}$  [6]. Зная его, можно более полно определить параметры теплового процесса при шлифовании, да и других методов механической обработки, поскольку зависимости (2) и (10) справедливы для всего многообразия методов механической обработки.

Например, при точении скорость  $V_{\text{рез}}$  значительно больше, чем при шлифовании. Поэтому будет больше параметр  $A = V_{\text{рез}} \cdot a_{\text{срез}} / a$  (где  $a_{\text{срез}}$  – толщина среза, м), и соответственно больше отношение  $\theta/\theta_{\text{max}}$ , которое будет стремиться к единице. Однако при точении, как известно [2], меньше условное напряжение резания  $\sigma$ . Следовательно, будет меньше максимальная температура резания  $\theta_{\text{max}} = \sigma / (c \cdot \rho)$  и, соответственно, температура резания  $\theta$ , исходя из постоянства отношения  $\theta/\theta_{\text{max}}$ . Из этого вытекает, что при точении может быть меньше интенсивность теплового воздействия на поверхностный слой обрабатываемой детали. В результате будет обеспечиваться более высокое качество обрабатываемой поверхности, что подтверждается практическим опытом. Этим объясняется тот факт,

что на финишных операциях все чаще вместо процесса шлифования применяются прогрессивные методы лезвийной обработки (точение и фрезерование) с целью уменьшения температуры резания. Особенно эффективно применение высокоскоростного резания, обеспечивающего уменьшение температуры резания за счет уменьшения условного напряжения резания  $\sigma$ .

Кроме того, выполнение условия  $\theta/\theta_{\text{max}} \rightarrow 1$ , исходя из рис. 1, указывает на возможность дальнейшего увеличения скорости резания фактически без увеличения температуры резания. Это чрезвычайно важный резерв повышения производительности обработки при одновременном обеспечении высокого качества поверхностного слоя обрабатываемой детали. При шлифовании такой эффект обработки реализовать сложно из-за высоких значений условного напряжения резания  $\sigma$ , которые обусловлены интенсивным трением связки круга с обрабатываемым материалом. Поэтому применение различных технологических средств, способствующих снижению интенсивности трения в зоне шлифования, позволяет уменьшить условное напряжение резания  $\sigma$  и соответственно температуру резания  $\theta$  при одновременном повышении качества и производительности обработки. Одним из эффективных методов снижения тепловой и силовой напряженности процесса резания следует рассматривать метод прерывистого шлифования [1].

При прерывистом шлифовании, т.е. при шлифовании кругом с прерывистой рабочей поверхностью, время  $\tau = t / V_{\text{рез}}$  необходимо рассматривать в виде  $\tau = \tau_1 \cdot n$ , где  $\tau_1$  – время контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемой деталью, с;  $n$  – количество контактов рабочих выступов прерывистого круга с фиксированным сечением на обрабатываемой детали. Тогда параметр  $A$  определится:

$$A = \frac{V_{\text{рез}} \cdot \tau_1}{a}. \quad (11)$$

В этом случае  $\tau_1 < \tau$ , где  $\tau$  – время контакта обычного сплошного круга с обрабатываемой деталью, с. Поэтому, уменьшая время  $\tau_1 = l_{\text{выст}} / V_{\text{кр}}$  за счет уменьшения длины рабочего выступа прерывистого круга  $l_{\text{выст}}$  и увеличения скорости круга  $V_{\text{кр}}$ , можно уменьшить параметр  $A$  и соответственно температуру резания  $\theta$  согласно зависимости (2). При этом уменьшится величина  $l_2$ , т.к. в зависимости (9) необходимо вместо глубины шлифования  $t$  рассматривать величину  $t/n$ . Это создает условия более качественной обработки деталей машин при прерывистом шлифовании, что подтверждается экспериментальными данными [1].

Кроме того, при прерывистом шлифовании обеспечивается высокая режущая способность прерывистого круга вследствие его интенсивного самозатачивания [1], что снижает условное напряжение резания  $\sigma$ , максимальную температуру резания  $\theta_{\text{max}} = \sigma / (c \cdot \rho)$  и дополнительно уменьшает



температуру резания  $\theta$ . Следовательно, уменьшение температуры резания  $\theta$  при прерывистом шлифовании происходит как за счет уменьшения времени контакта шлифовального круга с фиксированным сечением на обрабатываемой детали, так и за счет уменьшения максимальной температуры резания  $\theta_{max}$ . При этом отношение  $\theta/\theta_{max}$  может оставаться постоянным. Из сказанного следует, что метод прерывистого шлифования является одним из наиболее эффективных методов финишной обработки, который обладает двойным эффектом снижения температуры резания [1].

Как показано выше, при точении также появляется возможность уменьшения максимальной температуры резания  $\theta_{max}$  и температуры резания  $\theta$  (при заданном значении отношения  $\theta/\theta_{max}$ ) за счет уменьшения условного напряжения резания  $\sigma$ , чего фактически нельзя добиться при обычном шлифовании сплошным кругом. При точении, как и при прерывистом шлифовании, уменьшается величина  $l_2$ . Это положительно отражается на качестве поверхностного слоя обрабатываемой детали и позволяет рассматривать эти два метода механической обработки альтернативой традиционно применяемому методу шлифования сплошным кругом на финишных операциях.

**Выводы.** Произведен расчет параметров теплового процесса при шлифовании и на его основе определены условия уменьшения температуры резания. Показано, что температура резания уменьшается по мере уменьшения доли тепла, возникающего при резании и уходящего в образующиеся стружки, и соответственно, увеличении доли тепла, уходящего в обрабатываемую деталь. При этом уменьшается глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали. Установлено, что чем меньше условное напряжение резания, тем меньше температура резания. Этим доказана эффективность применения на финишных операциях вместо шлифования прогрессивных методов лезвийной обработки, характеризующихся меньшими значениями условного напряжения резания. Теоретически обоснована эффективность применения прерывистого шлифования. В этом случае уменьшение температуры резания происходит за счет уменьшения времени контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемой деталью и за счет уменьшения условного напряжения резания вследствие работы круга в режиме интенсивного самозатачивания. Такой двойной эффект обработки фактически достигается лишь при прерывистом шлифовании, что является чрезвычайно важным фактором повышения качества и производительности обработки.

#### Список литературы:

1. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
2. Новиков Ф. В. Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки: монография / Ф. В. Новиков. – Д.: ЛИРА, 2018. – 400 с.
3. Сизый Ю. А. Динамика и теплофизика шлифования / Ю. А. Сизый, Д. В. Сталинский. – Харьков: ГП УкрНТЦ «Энергосталь», 2016. – 448 с.
4. Лавриненко В. И. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки: монография / В. И. Лавриненко, В. Ю. Солод. – Каменское: ДГТУ, 2016. – 529 с.
5. Современные технологии и техническое перевооружение предприятий: монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, А. А. Андилахай, Д. Ф. Новиков, В. И. Полянский. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 400 с.
6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Т. 2. «Теплофизика резания материалов». – Одесса: ОНПУ, 2003. – 625 с.
7. Полянский В. И. Определение максимально возможной производительности лезвийной обработки с учетом ограничения по температуре резания / В. И. Полянский // Резание и инструменты в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. / Под общ. ред. проф. А. Н. Шелкового, редкол.: проф. А. И. Грабченко (отв. ред.) и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2018. – Вып. 89 (101). – С. 141–148.

#### References (transliterated)

1. Yakimov A. V. Optimizatsiya protsessa shlifovaniya [Optimization of the grinding process] / Moscow: Mashinostroyeniye, 1975. 175 p.
2. Novikov F. V. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya tekhnologicheskikh protsessov mekhanicheskoy obrabotki: monografiya [Fundamentals of mathematical modeling of technological processes of machining: monograph] / Dnepr: LIRA, 2018. 400 p.
3. Sizyy YU. A., Stalinskiy D. V. Dinamika i teplofizika shlifovaniya [Dynamics and thermal physics of grinding] / Khar'kov: GP UkrNTTS "Energestal", 2016. 448 p.
4. Lavrinenko V. I., Solod V. YU. Instrumenty iz sverkhтвердыхkh materialov v tekhnologiyakh abrazivnoy i fiziko-tekhnicheskoy obrabotki: monografiya [Tools from superhard materials in abrasive and physical-technical processing technologies: monograph] / Kamenskoye: DGTU, 2016. 529 p.
5. Novikov F. V., Zhovtobryukh V. A., Andilakhay A. A., Novikov D. F., Polyanskiy V. I. Sovremennyye tekhnologii i tekhnicheskoye perevooruzheniye predpriyatiy: monografiya [Modern technologies and technical re-equipment of enterprises: monograph] / Dnepr: LIRA, 2018. 400 p.
6. Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroyeniya [Physicomathematical theory of material processing processes and engineering technology] / Pod obshch. red. F.V. Novikova i A.V. Yakimova. V desyati tomakh. – Vol. 2. "Teplofizika rezaniya materialov" [Vol. 2. "Thermophysics of cutting materials"]. – Odessa: ONPU, 2003. 625 p.
7. Polyanskiy V. I. Opredeleniye maksimal'no vozmozhnoy proizvoditel'nosti lezviynoy obrabotki s uchetom ogranicheniya po temperature rezaniya [Determination of the maximum possible productivity of blade processing, taking into account restrictions on cutting temperature] / Reziyeniye i instrumenty v tekhnologicheskikh sistemakh: Mezhdunar. nauch.-tekhn. sb. [Cutting and tools in technological systems: Intern. scientific and technical Sat] / Pod obshch. red. prof. A. N. Shelkovogo, redkol.: prof. A. I. Grabchenko (otv. red.) i dr. Khar'kov: NTU "KHPI", 2018. Vyp. 89 (101). P. 141–148.

Поступила (received) 02.12.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Полянський Володимир Іванович (Полянский Владимир Иванович, Polyansky Vladimir)** – кандидат технічних наук, Генеральний директор, ТОВ "Імперія металів", м. Харків; тел.: +38-067-57-80-906; e-mail: fokusnic1@rambler.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5482-9955>